

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«МИРЭА – Российский технологический университет»
РТУ МИРЭА»**

ЛЕКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Конфиденциальная информация и ее защита в документационном
обеспечении управления
Электроника**

**Уровень бакалавриат
Форма обучения очная**

**Направление
подготовки 10.03.01 Информационная безопасность**

Институт комплексной безопасности и специального приборостроения

Кафедра кафедра электроники

Лектор д.т.н., профессор Филинов В.В.

Используются в данной редакции с учебного года 2020/21

Проверено и согласовано «_____» _____ 20__ г.
*(подпись директора Института Филиала
с расшифровкой)*

Москва 2020г.

4.10. Измерение электрических величин цифровыми приборами

Цифровыми измерительными приборами (ЦИП) называются приборы, автоматически вырабатывающие дискретные сигналы измерительной информации, т. е. показания которых представлены в цифровой форме.



Рис. 4.24. Блок-схема цифрового электрического прибора

Входные величины у цифровых, как и у аналоговых, измерительных устройств непрерывные. Главное различие между аналоговыми и цифровыми измерительными приборами состоит в индикации измерительной информации. В аналоговых измерительных приборах результаты измерения могут принимать сколь угодно близкие друг к другу значения, а в цифровых приборах результаты измерений могут принимать только фиксированные значения, ближайшие из которых различаются на заданную (известную) величину — шаг квантования.

Цифровой прибор имеет два обязательных функциональных узла: аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и цифровой индикатор (рис. 4.24). АЦП выдает цифровой код в соответствии со значением измеряемой величины, а индикатор отражает значение измеряемой величины в цифровой форме.

Кроме АЦП, к цифровым преобразователям относятся цифроаналоговые преобразователи (ЦАП), предназначенные для выполнения обратной АЦП операции, т. е. для преобразования цифрового кода в аналоговую величину. АЦП и ЦАП применяются также в измерительных, информационных, управляющих системах слежения и диагностики объекта, поэтому выпускаются промышленностью в виде автономных устройств.

Дискретность результатов измерений у ЦИП вызвана тем, что входные сигналы квантуются. Известно квантование двух видов: по уровню, по времени.

4.10.1. Цифровые измерительные приборы с квантованием по уровню

При квантовании по уровню весь диапазон измерения входной величины разбивается на ряд уровней и значение входной величины принимается равным ближайшему уровню. Суть квантования по уровню поясняется на рис. 4.25, где показано, что непрерывной входной величине X ставится в соответствие дискретная величина Y .

Функциональная схема ЦИП, реализующего квантование по уровню, показана на рис. 4.26. Измеряемая величина X поступает на вход сравнивающего устройства $СУ$. На другой вход $СУ$ подается величина сравнения X_A , однородная с измеряемой, которая сформирована в ЦАП. Сравнивающее устройство (компаратор) формирует сигнал Z и управляет работой ключа K . При $X > X_A$ под действием сигнала Z ключ замыкается и пропускает импульсы с выхода генератора импульсов $ГИ$ на вход счетчика импульсов.

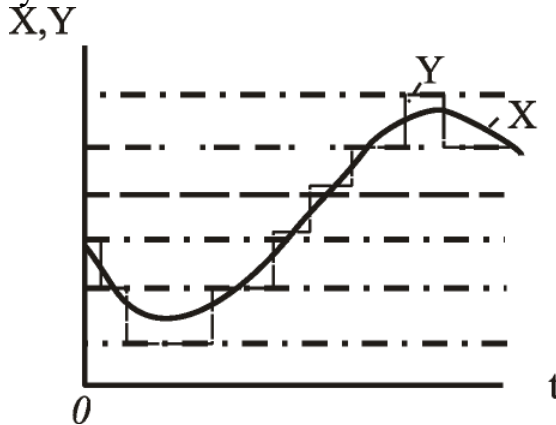


Рис. 4.25.
Диаграмма работы ЦИП

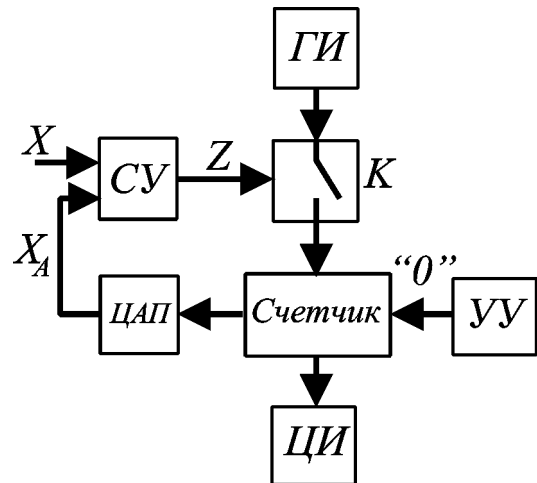


Рис. 4.26. Блок схема ЦИП с квантованием по уровню

Счетчик импульсов преобразует количество импульсов в цифровой код, который управляет работой ЦАП. Пока $X > X_A$, код на выходе счетчика возрастает и увеличивается X_A . При $X \leq X_A$ $СУ$ вырабатывает сигнал $Z < 0$, ключ отключает $ГИ$, импульсы больше не поступают на счетчик, код и X_A не изменяются. При помощи цифрового индикатора $ЦИ$ результат измерения представляется оператору. На этом процесс измерения закончен. Для следующего измерения необходимо вернуть счетчик и ЦАП в нулевое состояние при помощи управляющего устройства $УУ$ или вручную нажатием кнопки. После этого прибор готов к новому измерению.

ЦИП с квантованием по уровню широко применяются для измерения постоянных и переменных напряжений, сопротивлений, частоты, неэлектрических величин.

4.10.2. Цифровые измерительные приборы с квантованием по времени

Широкое распространение получили ЦИП с время-импульсными измерительными преобразователями (ВИП). Преобразователь (рис. 4.27а) формирует прямоугольные импульсы (рис. 4.27б), длительность которых пропорциональна измеряемой величине:

$$t_{\text{ИМП}} = kX.$$

Во время действия импульса $t_{\text{ИМП}}$ ключ K замыкается и пропускает импульсы с выхода генератора импульсов $ГИ$ на вход счетчика.

Количество импульсов, поступивших на счетчик (рис. 4.27 б),

$$N = t_{\text{ИМП}} / T = \frac{k}{T} X,$$

где $T = \text{const}$ - период следования импульсов на выходе генератора.

Таким образом, код, который будет записан в счетчике, пропорционален измеряемой величине. Этот код поступает на цифровой индикатор $ЦИ$ и там преобразуется в вид, удобный для представления оператору.

Преимуществами цифровых измерительных устройств с время-импульсным преобразованием и квантованием по времени являются простота конструкции и унификация устройств.

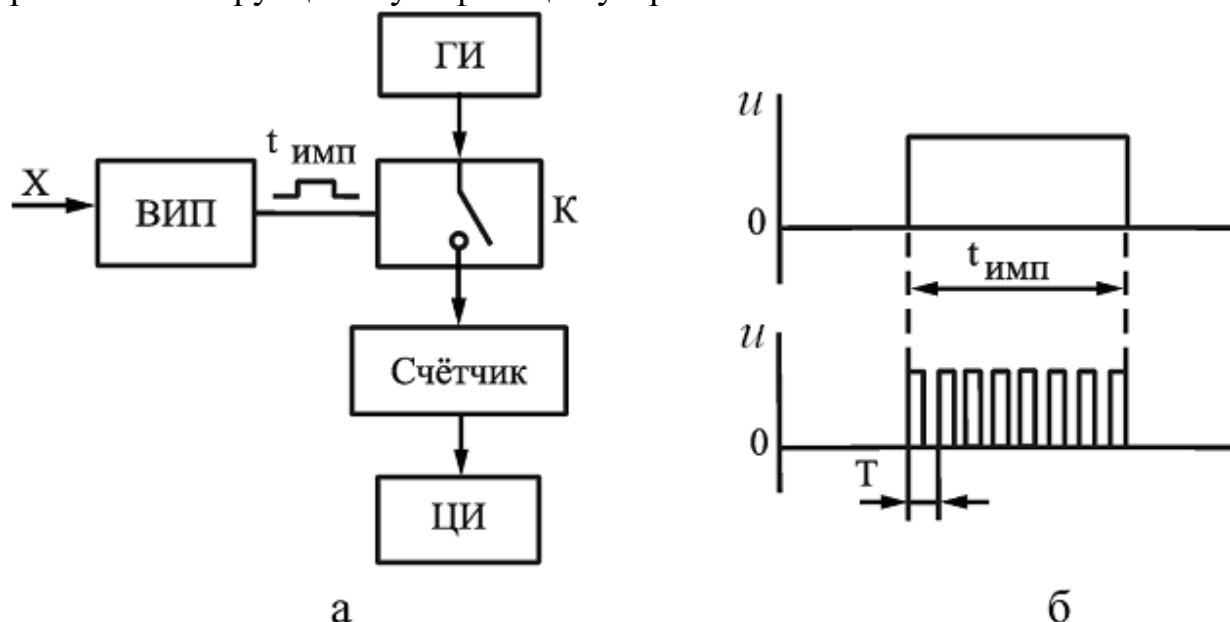


Рис. 4.27. Блок схема (а) и диаграмма работы (б) ЦИП с квантованием по времени

4.10.3. Перспективы развития современных цифровых приборов

Цифровые приборы находят все большее применение в контрольно-измерительной технике. Они имеют ряд достоинств: удобство отсчета и регистрации результата измерений, высокую точность и быстродействие, возможность сочетать ЦИП с вычислительными и автоматическими устройствами, в том числе управляемыми на расстоянии. При помощи современных ЦИП можно измерять напряжения в цепях постоянного тока в диапазоне 0,1 мкВ – 1000 В с погрешностью $\pm 0,0005\%$, в цепях переменного тока – 1 мВ – 1000 В с погрешностью $\pm 0,05\%$, сопротивления в интервале 10⁻³ – 10¹⁰ Ом с погрешностью $\pm 0,01\%$, частоту до 1·10⁷ Гц с погрешностью до $\pm 10^{-7}\%$.

ЦИП совершенствуются: улучшаются их метрологические характеристики, расширяются функциональные возможности, повышается надежность. В настоящее время конструируются ЦИП с применением микропроцессорных схем. Применение микропроцессоров в ЦИП позволяет полностью автоматизировать процесс измерения, производить при помощи ЦИП операции вычисления и управления, автоматически корректировать систематические погрешности, осуществлять калибровку и диагностику неисправностей, обработку результатов измерений и т.д.

К недостаткам ЦИП по сравнению со стрелочными приборами следует отнести их относительную сложность, относительно малую надежность и высокую стоимость. Применение микропроцессорной техники позволяет повысить надежность ЦИП и снижает их стоимость.

4.11. Электронно-лучевой осциллограф

Осциллографы предназначены для визуального наблюдения и фиксации быстропротекающих процессов. Применяется два типа осциллографов: электронно-механические, используемые для исследования относительно медленно протекающих процессов (при частоте до 5 кГц) и электронно-лучевые — для исследования относительно быстро протекающих процессов (до сотен мегагерц). Ниже рассматриваются осциллографы второго типа.

Осциллограф (рис. 4.28) состоит из электронно-лучевой трубки, схемы развёртки и органов управления. Электронно-лучевая трубка представляет собой стеклянную колбу, в которой помещается электронная пушка, отклоняющая система и экран. Электронная пушка при помощи катода, эмитирующего электроны, сетки S и анодов A_1 и A_2 формирует узкий электронный луч. Под действием электронов, падающих на экран, покрытый слоем люминофора, последний светится и на экране наблюдается светящаяся точка. Подавая на отклоняющие пластины напряжение, можно управлять положением луча. На горизонтально отклоняющие пластины X подается пилообразное напряжение, перемещающее луч в горизонтальном направлении, а на вертикальные Y — исследуемое напряжение. Если, изменяя частоту пилообразного напряжения, добиться совпадения частоты последнего с частотой исследуемого напряжения или кратного отношения частот, то на экране будет наблюдаться неподвижное изображение исследуемого напряжения, которое можно анализировать и фотографировать.

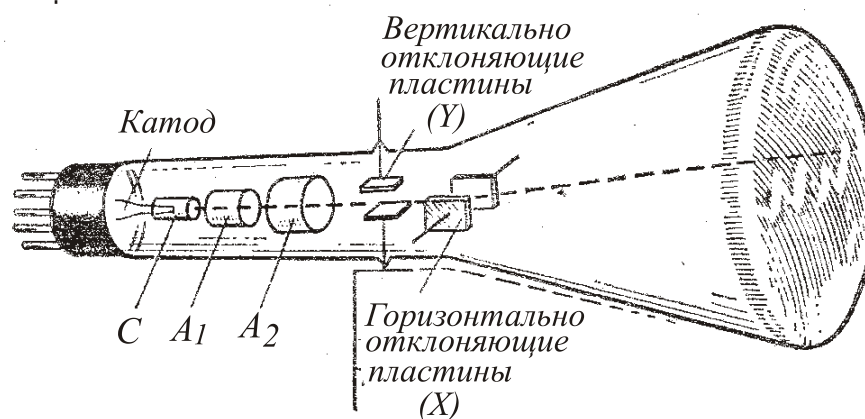


Рис. 4.28. Конструкция электронно-лучевой трубки

4.12. Измерение и контроль неэлектрических величин

4.12.1. Общие сведения

Современное производство немыслимо без автоматического контроля режимов технологических процессов, для чего необходимо производить измерения и контролировать различные неэлектрические величины, например, температуру, размеры, механические усилия, физико-механические свойства изделий.

Для измерения неэлектрических величин широко применяются электроизмерительные приборы. Они удобны в эксплуатации, имеют широкий диапазон измерения, позволяют производить дистанционные измерения и относятся к необходимым элементам автоматизации.

Особенностью электрических приборов для измерения неэлектрических величин является обязательное наличие измерительного преобразователя ИП неэлектрической величины в электрическую, который преобразует измеряемую величину X в какую-либо электрическую величину Y (рис. 4.29). Электрическая величина Y измеряется электрическим измерительным устройством (ЭИУ).

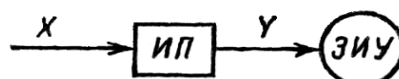


Рис. 4.29. Схема измерения неэлектрических величин

Шкала ЭИУ градуируется непосредственно в единицах измеряемой неэлектрической величины. Для снижения погрешности измерения неэлектрической величины часть ЭИУ выполняется на основе дифференциального или мостового метода измерений с аналоговой или цифровой формой индикации измеряемой величины.

По физическому принципу их действия различают параметрические и генераторные измерительные преобразователи. В параметрических преобразователях выходной величиной является параметр электрической

цепи – сопротивление R , емкость C , индуктивность L или взаимная индуктивность M . В генераторных преобразователях изменение измеряемой величины вызывает генерирование ЭДС.

4.12.2. Преобразователи неэлектрических величин

Тензочувствительный преобразователь (тензорезистор)

В основу работы преобразователя положен тензоэффект, заключающийся в изменении сопротивления проводника (полупроводника) под действием вызываемого в нем механического напряжения и деформации.

Если проволоку подвергнуть механическому воздействию, например, растяжению, то сопротивление ее изменится. Относительное изменение сопротивления проволоки $\Delta R/R = s\Delta l/l$, где s – коэффициент тензочувствительности; $\Delta l/l$ – относительная деформация проволоки.

Тензочувствительные преобразователи, широко применяемые в настоящее время (рис. 4.30), представляют собой тонкую зигзагообразно уложенную и приклеенную к полоске бумаги (подложке 1) проволоку 2 (решетку) диаметром 0,02 – 0,05 мм из константана (имеющего $s = 1,9 : 2,1$) с выводами 3.

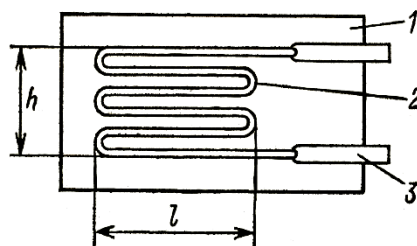


Рис. 4.30. Тензорезистор

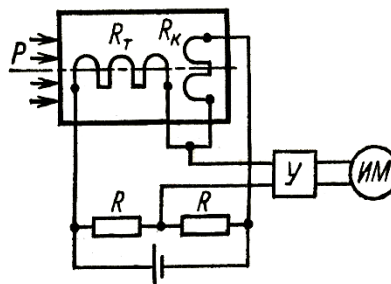


Рис. 4.31. Схема электронного манометра

Преобразователь приклеивается на поверхность исследуемой детали так, чтобы направление ожидаемой деформации совпадало с продольной осью решетки.

Примером электроизмерительного прибора с тензорезистором может служить электронный манометр (рис. 4.31), измеряющий давление P в диапазоне $5 \cdot 10^4 - 10^7$ Па. Измерительный преобразователь состоит из стального цилиндра с наклеенными проволочными тензорезисторами R_T и R_K – плечами моста и усилителя U с ИМ на выходе (миллиамперметром). Деформация воспринимается рабочим тензорезистором R_T . Компенсационный тензорезистор R_K , наклеенный вдоль образующей цилиндра, служит для температурной компенсации. Сигнал на выходе моста ΔU пропорционален измеряемому давлению.

Термочувствительный преобразователь (терморезистор)

Термочувствительный преобразователь широко применяется, например, для измерения температуры (в термометрах сопротивления) и содержания газа (в газоанализаторах). Преобразователь изготавливается из платиновой или медной проволоки или полупроводников (термисторов), сопротивление которых сильно зависит от температуры.

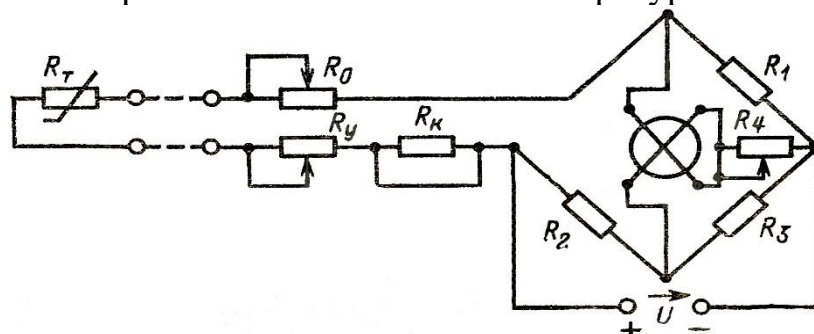


Рис. 4.32. Схема электрического термометра

Примером электрического термометра сопротивления служит мостовая схема с логометром (рис. 4.32)

Три плеча моста образованы манганиновыми резисторами R_1 , R_2 и R_3 . Четвертое плечо состоит из терморезистора R_T и резисторов R_0 , R_Y и R_K . В схеме имеется также резистор R_4 для установки предела шкалы логометра.

Резистор R_0 служит для установки нулевой точки шкалы (для уравнивания моста при начальной температуре). Резистор R_Y (уравнительный) дополняет сопротивление проводов до значения, принятого при градуировке (5 или 15 Ом). Для установки значения сопротивления R_Y в схеме предусмотрен резистор R_K (контрольный), сопротивление которого равно сопротивлению терморезистора, соответствующему определенной отметке на шкале прибора. Включив резистор R_K вместо R_T в плечо моста, изменяют сопротивление R_Y до тех пор, пока стрелка логометра не станет на указанную выше отметку шкалы. После этого резистор R_K закорачивают и подключают R_T .

Отклонение стрелки определяется отношением токов в обмотках логометра, которое зависит от изменения сопротивления терморезистора.

Индуктивный преобразователь

Принцип действия индуктивного преобразователя основан на зависимости индуктивности или взаимной индуктивности обмоток на магнитопроводе от положения, геометрических размеров и магнитного состояния участков магнитной цепи. Индуктивность и взаимная индуктивность изменяются, например, при изменении длины или сечения воздушного зазора в магнитопроводе в результате перемещения подвижного якоря 1, связанного с деталью (рис. 4.33), относительно неподвижного сердечника 2 или введения детали в виде пластины 3 из электропроводящего материала в воздушный зазор и т.д.

Индуктивные преобразователи применяются в приборах неразрушающего контроля качества металлопродукции магнитными

методами: для измерения толщин электропроводящих и диэлектрических покрытий, регистрации дефектов в структуре металла, определения марки стали и т.д. В этих приборах контролируемый участок детали замыкает полюсы магнитопровода. При изменении контролируемого параметра изменяются магнитные характеристики детали (относительная магнитная проницаемость, потери из-за вихревых токов и гистерезиса), а значит, магнитное сопротивление магнитопровода.

Емкостный преобразователь.

Принцип работы преобразователя основан на зависимости емкости конденсатора от размеров и взаимного расположения электродов и от диэлектрической проницаемости материала между электродами. Емкостные преобразователи применяются для измерения перемещений, уровней жидкости (уровнемер), для неразрушающего контроля качества диэлектрических деталей и т.д.

Реостатный преобразователь

Принцип работы реостатного преобразователя основан на изменении сопротивления проводника под влиянием перемещения подвижного контакта, связанного с перемещающейся деталью. Преобразователь применяется для измерения перемещений, уровня жидкости и других механических величин.

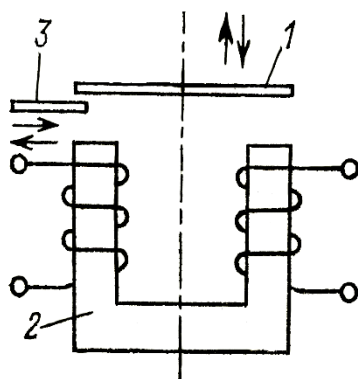


Рис. 4.33. Индуктивный преобразователь

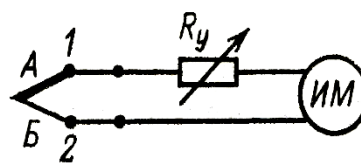


Рис. 4.34. Термоэлектрический преобразователь

Термоэлектрический преобразователь

Принцип работы термоэлектрического преобразователя основан на термоэлектрическом эффекте. При разности температур внешних выводов 1 и 2 разнородных проводников А и Б (рис. 4.34), образующих термопару, в цепи термопары возникает термо-ЭДС, которая измеряется измерительным механизмом ИМ (милливольтметром), градуировку которого осуществляют резистором R_y . Показания милливольтметра пропорциональны разности температур внешних выводов термопары. Чаще других применяются термопары хромель – алюмель и хромель – копель; развивающие термо-

ЭДС до 4,1 и 6,9 мВ соответственно при разности температур выводов до 100 °С.

Индукционный преобразователь

Работа индукционных преобразователей основана на использовании закона электромагнитной индукции. Индукционные преобразователи применяются для измерения линейных и угловых перемещений. Так, перемещение X плунжера с катушкой (рис. 4.35) вызывает изменение магнитного потока, создаваемого постоянным магнитом 2 и пронизывающего витки катушки, что приводит к возникновению ЭДС в катушке.

Индукционные преобразователи применяются в приборах неразрушающего контроля для определения дефектов и контроля физико-механических свойств металлоизделий. Простейший индукционный (вихретоковый) преобразователь в этом случае представляет собой две катушки (рис. 4.36) – возбуждающую 1 и измерительную 2, помещенные над поверхностью металлоизделия 3. Магнитное поле катушки 1 возбуждает вихревые токи в металлоизделии. Вихревые токи вызывают вторичное магнитное поле. Вторичное магнитное поле вместе с полем возбуждения образует результирующее поле, пронизывающее витки катушки 2. Наводимая в катушке 2 ЭДС дает информацию о дефектах в металлоизделии, его электромагнитных характеристиках, расстоянии до объекта контроля и т.д.

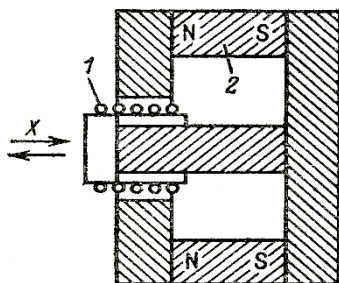


Рис. 4.35. Индукционный преобразователь

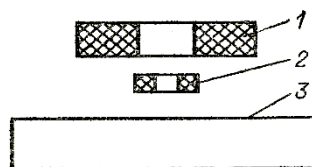


Рис. 4.36. Вихретоковый преобразователь

Пьезоэлектрический преобразователь

Используемый в пьезоэлектрических преобразователях эффект заключается в появлении электрических зарядов на поверхности некоторых кристаллов (кварца, сегнетовой соли и др.) под влиянием механических напряжений. Пьезопреобразователи применяются для измерения давлений, вибраций, ускорений и т.д., а также в приборах неразрушающего контроля акустическими методами. В последнем случае пьезопреобразователи служат для регистрации акустических волн в контролируемой среде. По характеру изменения акустических колебаний в среде определяют пригодность объекта контроля для эксплуатации.

4.13. Информационно-измерительные системы

Рост объема промышленной продукции и связанная с этим необходимость автоматизации технологических процессов и контроля продукции, централизация управления крупными энергетическими системами и системами газоснабжения требуют измерений и контроля десятков и сотен физических величин, характеризующих тот или иной процесс. Эту задачу решают информационно-измерительные системы.

Информационно-измерительная система (ИИС) – это аппаратный комплекс, состоящий из большого числа измерительных приборов и преобразователей, соединенных между собой так, чтобы обеспечить наилучшие метрологические характеристики процессов измерения, регистрации и обработки результатов измерения многих разнородных физических величин.

ИИС по своей структуре весьма разнообразны. Рассмотрим один из вариантов построения схемы ИИС (рис. 4.37).

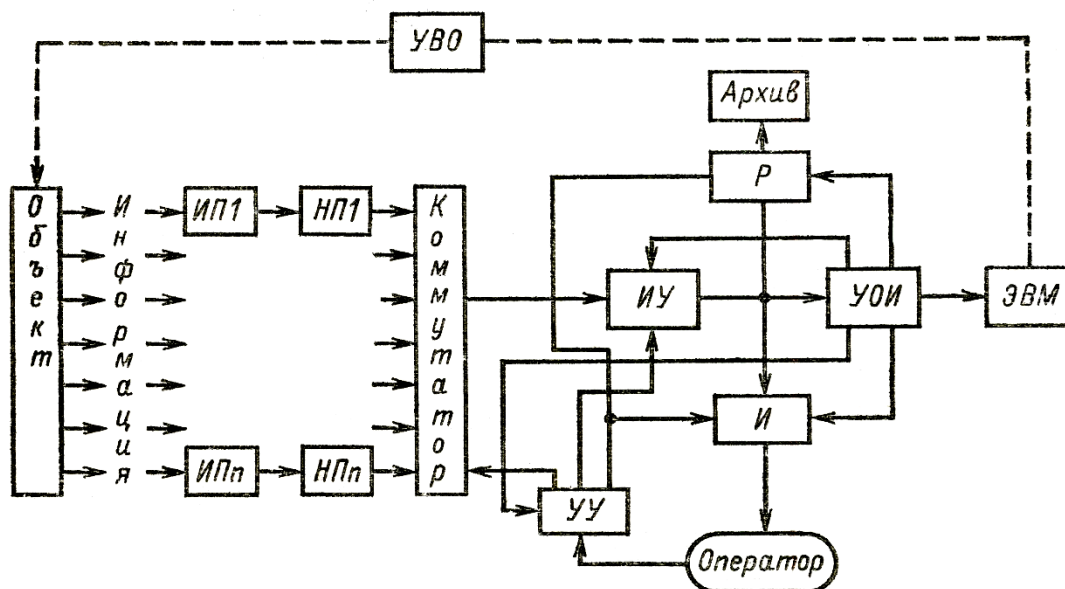


Рис. 4.37. Структурная схема информационно-измерительной системы

На объекте измерения, например на технологической линии, устанавливаются первичные измерительные преобразователи ИП, которые преобразуют разнородные измеряемые величины (обычно неэлектрические) в электрические. При этом уровни и диапазоны изменения выходных сигналов ИП могут быть разными из-за различных принципов их работы. С целью многократного применения устройств в различных каналах измерения (или контроля) выходные сигналы ИП нормируются в нормирующих преобразователях НП. Эти же преобразователи

обеспечивают необходимые уровни сигналов. С выходов нормирующих преобразователей измерительные сигналы поступают через коммутатор на измерительное устройство ИУ, где преобразуются в вид, удобный для индикации и регистрации. Индикатор И представляет измерительную информацию оператору, а регистрирующий преобразователь Р документирует эту информацию для хранения в архиве. Кроме того, сигнал с выхода измерительного устройства поступает на устройство первичной обработки информации УОИ, которое производит необходимые логические и вычислительные операции. Во время первичной обработки информации выполняются те вычисления, которые необходимы для формирования сигналов управляющих работой самой системы, и для представления информации оператору. По мере возрастания сложности ИИС и совершенствования вычислительных средств увеличивается значение устройства первичной обработки информации, которое может быть запрограммировано на реализацию методов повышения точности измерения. В этом случае оно формирует управляющие сигналы для функционирования измерительного устройства ИУ и выполняет требуемые вычислительные операции. Синхронизация работы всех элементов системы обеспечивается при помощи управляющего устройства УУ оператором.

При необходимости выходные сигналы из ИИС могут подаваться для дальнейшей, более сложной обработки во внешнюю ЭВМ. При этом машина по заданной программе может оценить параметры объекта измерения (или контроля). В случае несоответствия параметров заданным значениям ЭВМ выдает команды управления в устройство воздействия на объект УВО, которое, изменяя режим технологического процесса, приводит контролируемые параметры к заданным значениям.

ИИС с ЭВМ и устройством воздействия на объект образуют замкнутую автоматическую систему активного контроля. Основой этой системы являются современные средства цифровой измерительной техники и малые цифровые управляющие ЭВМ.